

В.В. Зуев, С.Л. Бондаренко

Особенности создания генерализированных хронологий общего содержания озона на основе их реконструкции из дендрохронологических данных

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 30.12.2005 г.

Рассматриваются результаты и критерии обобщения хронологий общего содержания озона. Эти хронологии были реконструированы из дендрохронологических данных для субарктических регионов Евразии в течение последних 200 лет. Предложен алгоритм минимизации температурной чувствительности дендрохронологического сигнала при раздельном анализе его главных компонент с помощью пакета «Гусеница». Приведены результаты дендроклиматологического мониторинга и реконструкции общего содержания озона вблизи г. Томска.

Введение

Впервые в работе [1] нами была показана связь потеплений климата в XX в. с долгопериодным понижением общего содержания озона (ОСО) в значительных пространственных масштабах Евразии. Долгопериодные хронологии ОСО реконструировались из дендрохронологических данных по плотности годичных колец хвойных деревьев по методике, основанной на значимом отклике хвойных деревьев к изменениям УФ-В-радиации, модулируемой колебаниями ОСО [2–4]. Поскольку дендрохронологические сигналы получены, как правило, в разрозненных и часто весьма удаленных друг от друга точках, для анализа палеоклиматических изменений необходимо обобщение (генерализация) реконструированных хронологий ОСО для больших пространственных масштабов с учетом известной пространственно-временной неоднородности поля ОСО [5].

В работе [6] была сделана первая попытка обобщения реконструированных данных ОСО для Субарктики Евразии при помощи кластерного анализа. Нами были отобраны около 30 хронологий по максимальной плотности годичных колец деревьев хвойных пород ели сибирской и сосны обыкновенной, произрастающих в низменной местности 25–300 м над уровнем моря. Статистический анализ дендрохронологических данных и данных ОСО за теплый период с мая по сентябрь показал значимую корреляцию для выборки 13–16 точек. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции ОСО с плотностью годичных колец были получены для ели сибирской (0,8–0,96) и на уровне значимости для сосны (0,5–0,66). Были выделены три группы хронологий, характеризующие три разные тенденции долгопериодных изменений ОСО на интервале 250 лет с отрицательным, положительным и практически нулевым трендом. Однако третья группа, вклинившаяся

в две другие области, не всегда согласовывалась с масштабами однородности поля ОСО, по крайней мере в пределах нескольких сотен километров. Скорее всего, в этом проявился результат неучета в методике реконструкции ОСО климатической составляющей дендрохронологического сигнала, в первую очередь приземной температуры. Таким образом, встает проблема минимизации температурной чувствительности дендрохронологического сигнала.

1. Способ минимизации температурной чувствительности хронологий плотности годичных колец хвойных деревьев

Для минимизации температурной чувствительности дендрохронологического сигнала мы воспользовались методом главных компонент с помощью пакета «Гусеница» (аналог метода SSA – Singular Spectrum Analysis). Для первоначальной проверки метода использовались данные по плотности годичных колец из образцов кедра, собранных вблизи г. Томска.

Измерения плотности годичных колец кедра проводилось на денситометре Института леса СО РАН им. В.Н. Сукачева. По измерениям максимальной плотности годичных колец кедра была составлена обобщенная хронология, индексы изменений максимальной плотности за вычетом тренда представлены в таблице. Поведение этого дендрохронологического сигнала иллюстрирует рис. 1, а. На рис. 1, б изображены 9 главных компонент этого сигнала, выделенных с помощью пакета «Гусеница». Удельный вес каждой компоненты после двойного центрирования следующий: 1 – 12%; 2 – 11%; 3 – 11%; 4 – 11%; 5 – 10%; 6 – 9%; 7 – 9%; 8 – 8% и 9 – близко к нулю.

Плотность годовых колец кедр, г. Томск (56° с.ш., 85° в.д.)

Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс	Год	Индекс
1827	-2,57	1863	1,05	1899	2,15	1935	-0,5	1971	-0,2
1828	-0,61	1864	-0,02	1900	1,49	1936	-0,2	1972	-0,45
1829	-0,56	1865	-0,03	1901	0,43	1937	-0,31	1973	-0,28
1830	-1,06	1866	-2,12	1902	0,05	1938	0,29	1974	-0,2
1831	-1,03	1867	0,82	1903	-1,45	1939	0,72	1975	0,43
1832	1,72	1868	0,12	1904	1,77	1940	0,27	1976	0,52
1833	-0,29	1869	0,63	1905	-0,08	1941	0,62	1977	0,73
1834	-0,57	1870	-1,32	1906	-0,07	1942	-0,38	1978	-0,91
1835	-0,09	1871	-0,4	1907	0,68	1943	1,37	1979	-0,52
1836	-0,32	1872	-2,66	1908	1,1	1944	1,31	1980	-0,45
1837	0,12	1873	1,11	1909	-0,48	1945	1,38	1981	-0,09
1838	0,55	1874	-0,4	1910	0,8	1946	-0,87	1982	0,77
1839	0,72	1875	-1,47	1911	0,06	1947	-0,08	1983	-1,6
1840	-0,6	1876	-1,74	1912	-1,71	1948	0,25	1984	-1,6
1841	2,42	1877	-0,26	1913	-0,74	1949	0,54	1985	-0,86
1842	-0,96	1878	0,48	1914	-0,7	1950	1,05	1986	-0,87
1843	-0,4	1879	-1,04	1915	1,32	1951	1,8	1987	0,22
1844	0,34	1880	-0,7	1916	0,21	1952	1,12	1988	0,31
1845	0,05	1881	0	1917	-0,16	1953	0,46	1989	-0,03
1846	-1,7	1882	-0,07	1918	1,07	1954	0,14	1990	0,02
1847	-2,14	1883	-1,05	1919	-0,36	1955	0,91	1991	-0,58
1848	0,34	1884	-1,1	1920	0,49	1956	-0,6	1992	-0,21
1849	1,62	1885	-0,26	1921	0,1	1957	-0,77	1993	0,23
1850	-1,88	1886	-0,23	1922	0,94	1958	-1,18	1994	0,8
1851	0,97	1887	0,33	1923	1,24	1959	0,29	1995	-0,46
1852	0,51	1888	0,88	1924	0,91	1960	-0,62	1996	-1,17
1853	-1,28	1889	-1,05	1925	0,47	1961	-0,17	1997	-0,3
1854	4,19	1890	-1,4	1926	0,24	1962	-0,05	1998	0,76
1855	0,66	1891	0,06	1927	0,57	1963	-1	1999	0,68
1856	-0,21	1892	1,33	1928	0,33	1964	0,8	2000	0,06
1857	-1,47	1893	0,25	1929	0,14	1965	-0,82	2001	-0,58
1858	1,34	1894	-0,78	1930	-0,63	1966	0,65	2002	-0,49
1859	-0,73	1895	2,32	1931	0,95	1967	0,18		
1860	0,26	1896	1,28	1932	-0,49	1968	-0,15		
1861	0,86	1897	1,81	1933	0,37	1969	-1,43		
1862	0,33	1898	0,56	1934	-0,32	1970	-1,83		

Для г. Томска имеется длинный ряд измерений приземной температуры до 1995 г., представленный на сайте www.meteo.ru. На рис. 2, а представлены ряды инструментальных измерений ОСО и приземной температуры в г. Томске на временном интервале с 1979 по 1995 г. Корреляции в поведении этих рядов не наблюдается (коэффициент корреляции $R = -0,27$). Тем не менее в хронологии плотности годовых колец кедр для этого временного интервала (рис. 2, б) явно присутствуют отклики как на приземную температуру ($R = 0,63$), так и на изменения ОСО ($R = -0,51$). Но в результате выделения главных компонент оказалось, что первая компонента (рис. 2, б) значимо коррелирует с ОСО для г. Томска ($R = -0,7$), но практически не коррелирует с приземной температурой ($R = 0,22$). При расширении анализируемого временного интервала до 1999 г. коэффициент корреляции первой компоненты дендрохронологического сигнала с ОСО достиг значения $R = -0,83$, в то время как корреляция плотности годового кольца с ОСО изменилась не так существенно ($R = -0,55$). Высокие значения коэффициентов корреляции обеспечивают

устойчивую реконструкцию долгопериодных изменений ОСО над г. Томском (рис. 3).

Несмотря на согласованный в целом ход реконструированных хронологий ОСО ($R = 0,45$), на рис. 3 отчетливо видны участки рассогласования, отражающие температурную чувствительность полного дендрохронологического сигнала.

Ранее нами было показано, что во временных рамках вегетационного периода для близлежащих координат в пределах 5–7°-сетки глобального мониторинга ОСО изменения имеют общий характер [7]. Изменения климатических параметров, в первую очередь температуры, имеют более локальные масштабы. Поэтому если в хронологиях по дендрохронологическим параметрам в этих пределах есть расхождения, то они наверняка связаны с изменениями не озона, а температурного режима. Так, на рис. 4 выделены зоны явного рассогласования в поведении хронологий индексов плотности годовых колец, выбранных для реконструкции ОСО в точках 44° с.ш./63° в.д. и 54° с.ш./64° в.д. При этом поведение ОСО для этих координат по спутниковым данным TOMS коррелирует с коэффициентом 0,98.

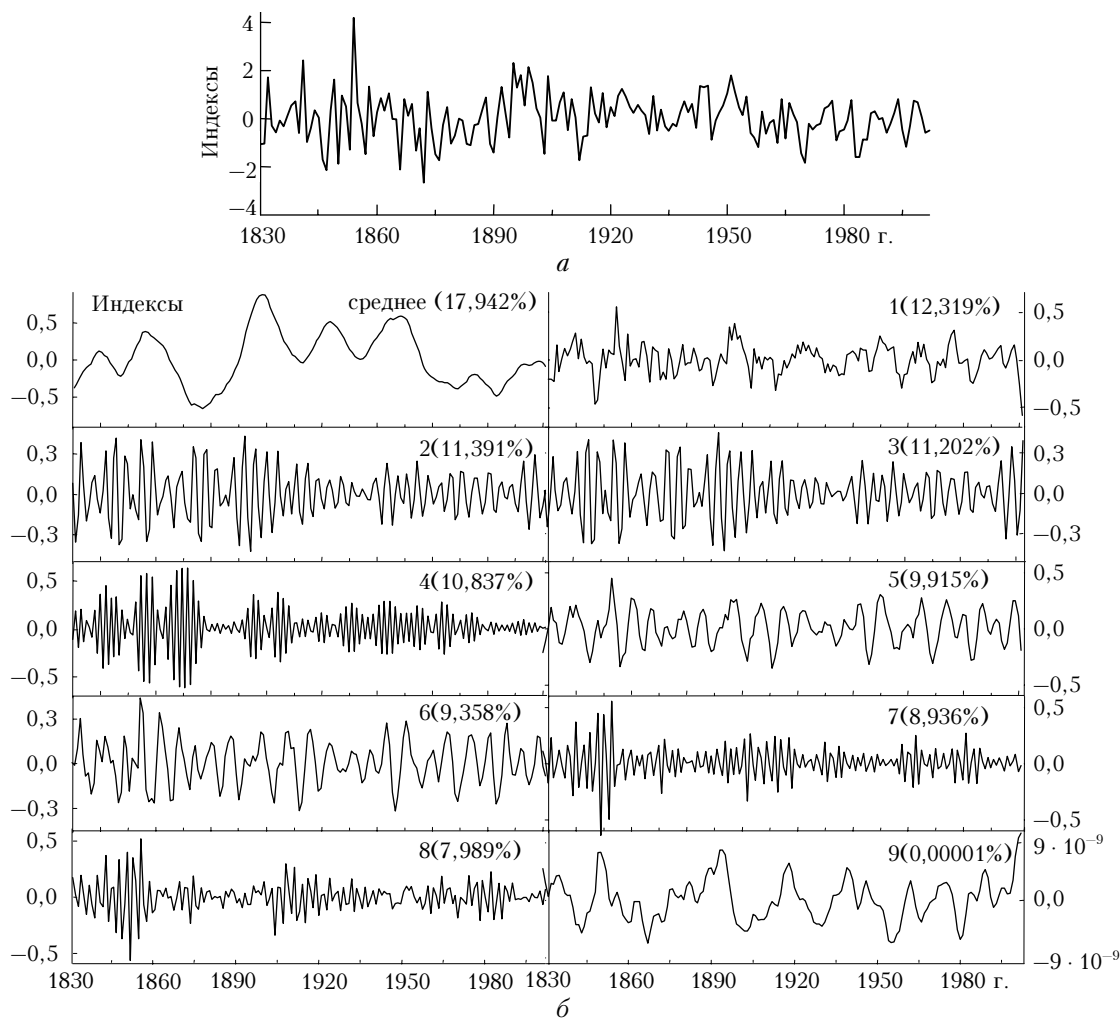


Рис. 1. Поведение полного дендрохронологического сигнала по плотности годичных колец кедра вблизи г. Томска (а) и его 9 главных компонент (б)

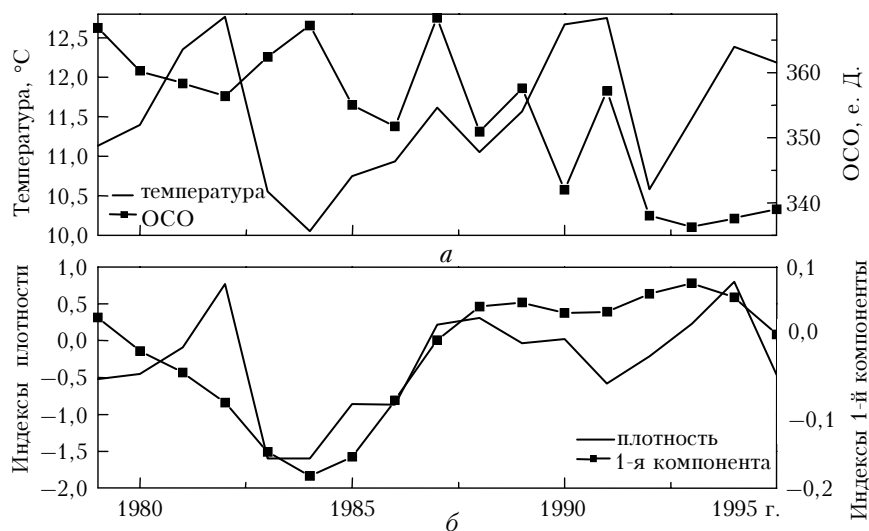


Рис. 2. Ряды данных инструментальных измерений ОСО и приземной температуры в г. Томске на временном интервале 1979–1995 гг. (а) и поведение на этом интервале полного дендрохронологического сигнала и его 1-й компоненты (б)

Для координаты 54° с.ш./64° в.д. коэффициент корреляции ОСО и плотности годичных колец отрицателен и выше уровня значимости (-0,63). Для

второй координаты эта связь слабо положительна, что, вообще говоря, противоречит нашей методике [2–4], основанной на физиологическом отклике

хвойных деревьев на воздействие УФ-В-радиации, обуславливающим отрицательную корреляцию ОСО и плотности годичных колец.

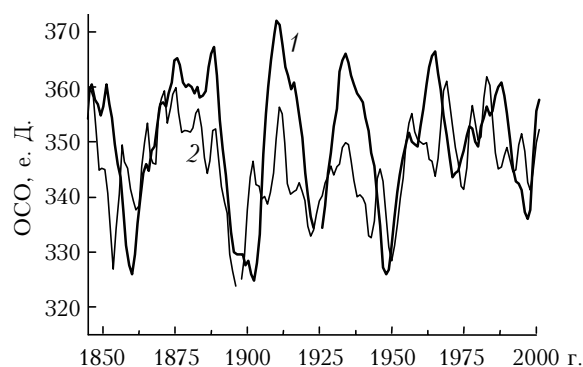


Рис. 3. Результаты реконструкции ОСО из полного дендрохронологического сигнала (по плотности годичного кольца) и из 1-й компоненты этого сигнала: 1 – 1-я компонента; 2 – плотность

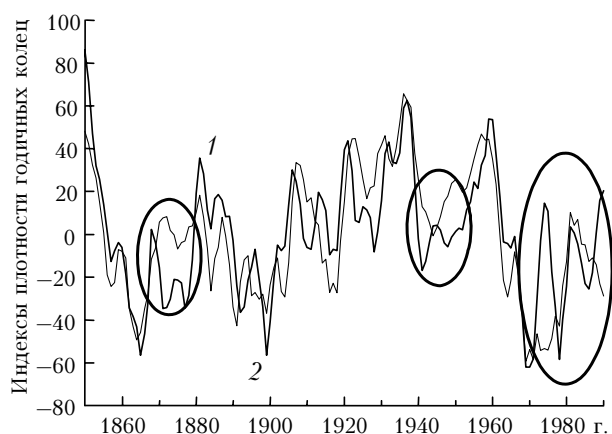


Рис. 4. Поведение индексов плотности годичных колец по двум дендрохронологическим сигналам, полученным в пределах однородности поля ОСО: 1 – 44° с.ш., 63° в.д.; 2 – 54° с.ш., 64° в.д.

Было выполнено разложение без обычного сглаживания рядов максимальной плотности годичных колец хвойных деревьев методом «Гусеница» на 9 компонент. На основе корреляционного анализа выделена сумма одних и тех же компонент для обеих хронологий (1-я и 9-я), поведение которых оказалось практически синхронным и показывало одинаковую значимую отрицательную корреляцию с ОСО (-0,63).

2. Генерализованные хронологии общего содержания озона для субарктических регионов

В результате реанализа реконструированных данных, представленных в [6], было выявлено, что третья группа – это, в основном, результат реконструкции ОСО по данным с сильной климатической составляющей дендрохронологического сигнала. Эта группа данных потребовала дополнительной дора-

ботки с учетом минимизации температурной чувствительности с помощью метода главных компонент. В результате кластерного реанализа распределения поля ОСО для субарктических широт представлено двумя группами данных (рис. 5, а), а соответствующие этим группам генерализованные хронологии ОСО изображены на рис. 5, б.

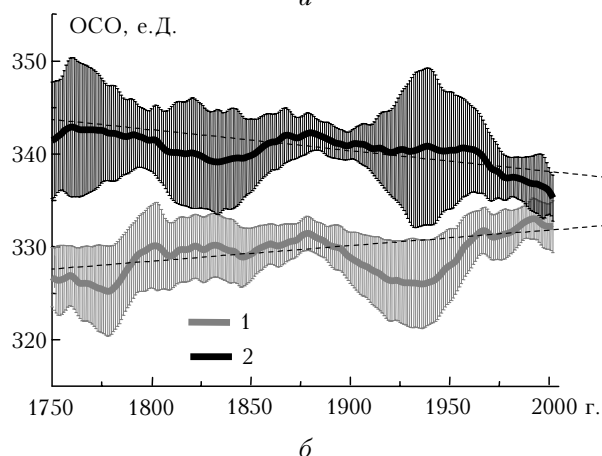
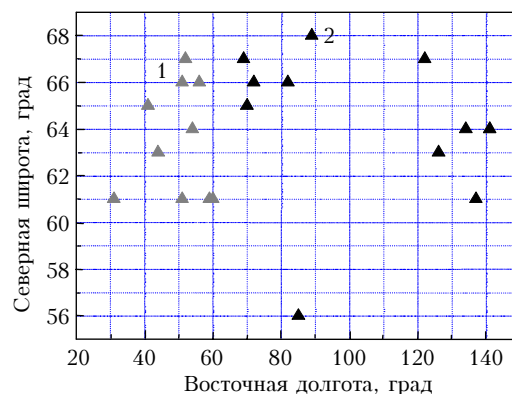


Рис. 5. Карта распределения реконструированных данных ОСО по группам для Субарктики Евразии (а) и соответствующие им генерализованные хронологии ОСО (б)

Видно, что первая группа по долготе располагается к западу от Урала, т.е. относится к европейской части Субарктики Евразии, а вторая к азиатской. Они характеризуются противоположными трендами генерализованных хронологий ОСО. По-видимому, эти тренды отражают ветвь более низкочастотных колебаний ОСО. Поскольку поведение стратосферного озона в субарктических регионах и, соответственно, ОСО полностью формируется стратосферной циркуляцией воздушных масс, можно предположить, что низкочастотные колебания ОСО европейской группы модулируются термохалинной циркуляцией Северной Атлантики, а азиатской – восточной частью Северного Ледовитого океана.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сформулировать критерии обобщения данных для исследования долгопериодных колебаний общего содержания озона в субарктических широтах.

1. Отбор дендрохронологических данных для одних и тех же координат должен проводиться по максимуму чувствительности к изменениям ОСО (коэффициент корреляции R).

2. Разложение временных рядов по плотности годовых колец на главные компоненты позволяет выделить в одной компоненте или сумме нескольких компонент колебания дендрохронологического сигнала, практически не связанные с изменениями температуры, но максимально коррелирующие с изменениями ОСО.

3. Необходимым условием выбора компонент является условие их отрицательной корреляции с ОСО.

4. Проверкой правильности выбора компонент может служить согласованность хронологий ОСО, реконструированных из разных дендрохронологических сигналов, по крайней мере, в пределах 5–7° по координатной карте.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.В. Кирдянову за проведение денситометрических измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке по грантам РФФИ № 03-05-65105; 05-05-98003.

1. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Бондаренко С.Л. Влияние долгопериодных колебаний озоносферы века на изменчивость глобального содержания CO_2 в атмосфере // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 7. С. 621–626.

2. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Взаимосвязь долгопериодной изменчивости озонового слоя атмосферы с обусловленной УФ-В-воздействием изменчивостью плотности древесины // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14. № 12. С. 1–4.

3. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Реконструкция многовекового хода общего содержания озона на основе дендрохронологических данных // Докл. РАН. 2003. Т. 392. № 5. С. 382–385.

4. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Реконструкция палеоповедения озонового слоя из дендрохронологических данных с использованием спутниковых данных TOMS // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 6. С. 19–24.

5. Зуев В.В. Лидарный контроль стратосферы. Новосибирск: Наука, 2004. 307 с.

6. http://www.arm.gov/publications/proceedings/conf15/extended_abs/zuev_vv.pdf

7. Бондаренко С.Л., Зуев В.В., Бондаренко М.А. Анализ и прогноз пространственно-временного распределения общего содержания озона по спутниковым и реконструированным данным для территории Западной Сибири // Геогр. и природ. ресурсы. 2005. № 1. С. 108–113.

V.V. Zuev, S.L. Bondarenko. Peculiarities of creation of the total ozone content generalized chronology based on dendrochronological data.

The results and criteria of total ozone chronology generalization are considered. This chronology was reconstructed from 200-year dendrochronological data for Eurasia subarctic regions. The minimization algorithm of dendrochronological signal temperature sensibility was suggested (using the separate analysis of its main components via «Caterpillar» package application). This article represents the results of dendroclimatical monitoring and total ozone reconstruction in the vicinity of Tomsk city.